

SEMICONDUCTOR DEVICE

Patent Number: JP8306958
Publication date: 1996-11-22
Inventor(s): MATSUSHITA YASUHIKO
Applicant(s): SANYO ELECTRIC CO LTD
Requested Patent: ☐ JP8306958
Application Number: JP19950110887 19950509
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L33/00; H01S3/18
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PURPOSE: To provide a semiconductor device where a base layer has conductivity and a cleavage property and a growth layer, which consists of a GaN, AlN or InN crystal or the mixed crystal of these GaN, AlN and InN crystals, is almost completely made a lattice matching with the base layer.

CONSTITUTION: A p-type Al-doped 6H-SiC substrate 10 is used. A GaN growth layer 20, which contains in order a p-type GaN layer 21, a p-type AlGaIn clad layer 22, an n-type InGaIn luminous layer 23, an n-type AlGaIn clad layer 24 and an n-type GaN layer 25, is epitaxially grown on the face {0001} of the substrate 10.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-306958

(43)公開日 平成8年(1996)11月22日

| (51)Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | FI | 技術表示箇所 |
|--------------------------|------|--------|------------|--------|
| H01L 33/00 | | | H01L 33/00 | C |
| H01S 3/18 | | | H01S 3/18 | |

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全7頁)

(21)出願番号 特願平7-110887

(22)出願日 平成7年(1995)5月9日

(71)出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72)発明者 松下 保彦

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三

洋電機株式会社内

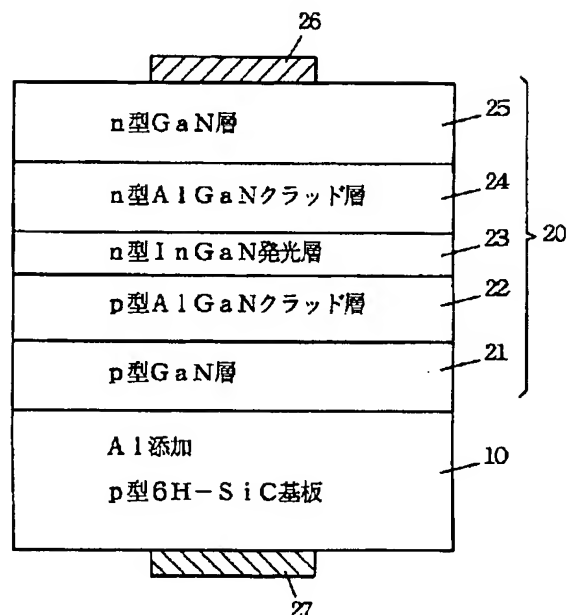
(74)代理人 弁理士 福島 祥人

(54)【発明の名称】 半導体装置

(57)【要約】

【目的】 下地層が導電性およびへき開性を有し、かつGaN、AlNもしくはInNまたはこれらの混晶からなる成長層が下地層とほぼ完全に格子整合した半導体装置を提供することである。

【構成】 Alが添加されたp型6H-SiC基板10を用いる。p型6H-SiC基板10の{0001}面上に、p型GaN層21、p型AlGaNクラッド層22、n型InGaN発光層23、n型AlGaNクラッド層24およびn型GaN層25を順に含むGaN成長層20をエピタキシャル成長させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 炭素よりも大きな原子サイズを有する不純物元素が添加された炭化ケイ素からなる下地層上に、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む窒化物半導体からなる成長層が形成されたことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記不純物元素は、アルミニウム、ベリリウム、ガリウム、スカンジウム、チタン、クロムまたは酸素であることを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項3】 前記下地層は、{0001}成長面、{1010}成長面、{1120}成長面または{111}成長面を有する炭化ケイ素基板または前記炭化ケイ素基板上にエピタキシャル成長した炭化ケイ素層であることを特徴とする請求項1または2記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、GaN（窒化ガリウム）、AlN（窒化アルミニウム）もしくはInN（窒化インジウム）またはこれらの混晶からなる成長層を有する半導体装置に関する。

【0002】

【従来の技術】直接遷移型のバンド構造を有するGaNは、青色あるいは紫色の光を発する発光ダイオード、半導体レーザ装置等の半導体発光素子の材料として有望である。しかしながら、GaNからなる良好な基板が存在しないため、GaN系半導体発光素子を作製する際には他の材料からなる基板を用いる必要がある。

【0003】例えば、図8に示すように、サファイア（ Al_2O_3 ）基板30の（0001）面上に多結晶のAlNバッファ層31を形成し、AlNバッファ層31上にGaN成長層40を形成する。あるいは、図9に示すように、サファイア基板30の（0001）面上に多結晶のGaNバッファ層32を形成し、GaNバッファ層*

*層32上にGaN成長層40を形成する。また、図10に示すように、6H-SiC（炭化ケイ素）基板33の（0001）面上にGaN成長層40を形成する方法も提案されている。

【0004】図11は図9の方法を用いて作製される従来のGaN系発光ダイオードの構造を示す断面図である。図11の発光ダイオードは日経マイクロデバイス1994年2月号の第92頁～第93頁に開示されている。

10 【0005】図11において、サファイア基板30上にGaNバッファ層32が形成され、GaNバッファ層32上に、n型GaN層41、n型AlGaNクラッド層42、InGaN発光層43、p型AlGaNクラッド層44およびp型GaN層45からなるGaN成長層40が形成されている。p型GaN層45からn型GaN層41の上部領域までがエッチングされ、p型GaN層45の上面にp側電極46が形成され、n型GaN層41の上面にn側電極47が形成されている。このような発光ダイオードの構造はラテラル構造と呼ばれている。

20 【0006】図11の発光ダイオードは、InGaN発光層43をn型AlGaNクラッド層42およびp型AlGaNクラッド層44で挟んだダブルヘテロ構造のpn接合を有し、青色の光を効率よく発生することができる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】図12にサファイア、GaNおよびAlNの格子を示し、表1にサファイア、GaNおよびAlNの格子定数および格子不整合率を示す。図12においては、GaNおよびAlNの格子が実線で示され、サファイアの格子が破線で示される。GaNおよびAlNの格子において、 a_1' は格子定数 a_2 の $\sqrt{3}$ 倍である。

【0008】

【表1】

| | サファイア | GaN | AlN |
|--------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 格子定数 [Å] | $a_1 = 4.758$ | $a_2 = 3.189$ $a_1' = 5.524$ | $a_2 = 3.111$ $a_1' = 5.388$ |
| a_1' / a_1 | — | 1.161 | 1.132 |
| 格子不整合率 | — | +16.1% | +13.2% |

【0009】表1に示すように、GaNおよびAlNの格子定数 a_2 はそれぞれ3.189Åおよび3.111Åであり、 a_1' の値はそれぞれ5.524Åおよび5.388Åである。サファイアの格子定数 a_1 は4.758Åであるので、GaNの a_1' の値とサファイア

の格子定数 a_1 との比は1.161となり、AlNの a_1' の値とサファイアの格子定数 a_1 との比は1.132となる。したがって、サファイアに対するGaNの格子不整合率は+16.1%となり、サファイアに対するAlNの格子不整合率は+13.2%となる。このよう

に、Ga₂NおよびAlNの格子定数はサファイアの格子定数と大きく異なっている。

【0010】図8および図9の構造を有する半導体装置においては、サファイア基板30上に多結晶のAlNバッファ層31またはGa₂Nバッファ層32を設けることによりGa₂N成長層40とサファイア基板30との格子不整合を緩和している。しかしながら、サファイア基板30との格子不整合を緩和するためにGa₂N成長層40の下地層（バッファ層）として多結晶を採用しているの

で、Ga₂N成長層40中に格子欠陥が多くなる。その結果、素子寿命が短くなるという問題がある。

【0011】また、サファイア基板30が絶縁物であり、素子の上下方向に導電性がないので、サファイア基板30の下面に電極を形成することができない。このため、例えば、図11の発光ダイオードでは、n型Ga₂N層41に電極を形成するために、p型Ga₂N層45からn型Ga₂N層41の上部領域までを精度良くエッチングする工程が必要となる。この場合、n側電極47が形成されるn型Ga₂N層41の膜厚を均一にすることは容易ではない。その結果、製造工程が複雑となり、歩留りが低くなる。

【0012】また、サファイア基板30にへき開性がないため、ウエハ上に形成された各素子をへき開により分離することができない。そのため、へき開により共振器端面が形成される半導体レーザ装置を作製することができない。

【0013】一方、図10に示す構造を有する半導体装置においては、6H-SiC基板33が導電性およびへき開性を有するので、製造工程が複雑化せず、かつウエハ上の各素子をへき開により分離することが可能となる。しかしながら、SiCの格子定数が3.08Åであり、Ga₂Nの格子定数が3.19Åであるため、6H-SiC基板33とGa₂N成長層40との界面に3.6%の格子不整合が存在する。それにより、Ga₂N成長層40の結晶性が低下し、格子欠陥が多くなる。

【0014】本発明の目的は、下地層が導電性およびへき開性を有し、Ga₂N、AlNもしくはInNまたはこれらの混晶からなる成長層が下地層とほぼ完全に格子整合した半導体装置を提供することである。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明に係る半導体装置は、炭素よりも大きな原子サイズ（炭化ケイ素結晶中の不純物元素の原子サイズ）を有する不純物元素が添加された炭化ケイ素からなる下地層上に、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む窒化物半導体からなる成長層が形成されたものである。

【0016】好ましくは、下地層と成長層とがほぼ格子整合するように下地層に不純物元素が添加されている。

特に、不純物元素がアルミニウム、ベリリウム、ガリウム、スカンジウム、チタン、クロムまたは酸素であることが好ましい。また、下地層は、{0001}成長面、{1010}成長面、{1120}成長面または{111}成長面を有する炭化ケイ素基板またはその炭化ケイ素基板上に成長した炭化ケイ素層であることが好ましい。

【0017】

【作用】本発明に係る半導体装置においては、炭化ケイ素からなる下地層中に炭素よりも大きな原子サイズを有する不純物元素が添加されることにより、下地層の格子定数が拡大する。炭化ケイ素中に添加する不純物元素の量を選択することにより、炭化ケイ素からなる下地層の格子定数をガリウム、アルミニウム、インジウムの少なくとも1つを含む窒化物半導体からなる成長層の格子定数とほぼ一致させることができる。それにより、成長層が下地層とほぼ完全に格子整合し、成長層の結晶性が良好となる。

【0018】

【実施例】図1は本発明の第1の実施例による半導体装置の製造方法を示す断面図である。第1の実施例では、図1(a)に示すように、Alが添加された6H-SiC基板10を用いる。図1(b)に示すように、Alが添加された6H-SiC基板10の{0001}面上にGa₂N成長層20をエピタキシャル成長させる。Ga₂N成長層20は、Ga₂N層、AlN層、InN層、AlGa₂N層、InGa₂N層、InAlN層およびInAlGa₂N層のうち1または2以上の種類からなる積層構造を有するが、ここでは代表的にGa₂N成長層と記す。

【0019】六方晶SiCの結晶成長時に、自然核発生成長（例えばアチソン法）の段階から成長結晶にAlを一定濃度以上添加すると、成長したSiC単結晶の格子定数が増加する。

【0020】図2にSi融液中のAl添加量と格子定数の a_0 の拡大率との関係の測定結果を示す。図2の関係は、LPE法（液相エピタキシャル成長法）によるSiC成長結晶にAlを添加した場合に得られたものであり、成長温度は1700℃である。図2から明らかなように、Si融液中のAl添加量を増加させるにしたがって、SiC結晶のa軸方向の格子定数 a_0 が拡大することがわかる。

【0021】表2に2H-SiC、6H-SiC、AlN、Ga₂NおよびInNのa軸方向の格子定数 a_0 およびc軸方向の格子定数 c_0 を示す。また、図3に六方晶の単位格子を示す。

【0022】

【表2】

| | | a_0 [Å] | *との比 | C_0 [Å] | **との比 |
|-----|--------|-----------|-------|-----------|-------|
| 基板 | 2H-SiC | 3.08* | - | 5.05** | - |
| | 6H-SiC | 3.08* | - | 15.12 | - |
| 成長層 | AlN | 3.11 | 1.010 | 4.98 | 0.986 |
| | GaN | 3.19 | 1.036 | 5.19 | 1.028 |
| | InN | 3.54 | 1.149 | 5.70 | 1.129 |

【0023】2H-SiCおよび6H-SiCは六方晶SiC群の一種である。表2に示すように、2H-SiCおよび6H-SiCの格子定数 a_0 は3.08Åであり、AlN、GaNおよびInNの格子定数 a_0 よりも小さい。そこで、図2に示すように、Si融液中のAl添加量を適当に選択することにより、2H-SiCおよび6H-SiCの格子定数 a_0 をAlN、GaNおよびInNの格子定数 a_0 と一致させることができる。これにより、完全に格子整合した6H-SiC基板10とGaN成長層20とのヘテロ接合が得られ、GaN成長層20の結晶性が向上する。

【0024】図4は第1の実施例による半導体装置の一例であるGaN系発光ダイオードの構造例を示す断面図である。図4に示すように、Alが添加された厚さ300μmのp型6H-SiC基板10を用いる。p型6H-SiC基板10の{0001}面上に、MOCVD法(有機金属化学的気相成長法)またはMBE法(分子線エビタキシャル成長法)によりGaN成長層20が形成される。

【0025】GaN成長層20は、Mgが添加された厚さ2μmのp型GaN層21、Mgが添加された厚さ0.15μmのp型AlGaNクラッド層22、SiおよびZnが添加された厚さ0.05μmのn型InGaN発光層23、Siが添加された厚さ0.15μmのn型AlGaNクラッド層24、およびSiが添加された厚さ0.5μmのn型GaN層25を順に含む。

【0026】n型GaN層25の上面にはAl/Auからなるn側電極26が形成され、p型6H-SiC基板10の下面にはAu/Niからなるp側電極27が形成されている。

【0027】図4の発光ダイオードは、n型InGaN発光層23をp型AlGaNクラッド層22およびn型AlGaNクラッド層24で挟んだダブルヘテロ構造のpn接合を有し、青色の光を効率よく発生することができる。

【0028】このように、p型6H-SiC基板10が導電性を有し、素子の上下方向に導電性があるので、p側電極27をp型6H-SiC基板10の下面に形成す

ることができる。したがって、素子の構造および製造工程が複雑化しない。また、6H-SiC基板10がへき開性を有するので、ウエハ上に形成された各素子をへき開により分離することができる。さらに、p型6H-SiC基板10とGaN成長層20との間に多結晶のバッファ層が存在せず、p型6H-SiC基板10がp型GaN層21と格子整合しているため、GaN成長層20の結晶性が向上し、格子欠陥が少ない。

【0029】図5は本発明の第2の実施例による半導体装置の製造方法を示す断面図である。第2の実施例においても、図5(a)に示すように、Alが添加された6H-SiC基板11を用いる。図5(b)に示すように、Alが添加された6H-SiC基板11の{0001}面上に、Alが添加された1~10μm程度の厚さの6H-SiC成長層12をエビタキシャル成長させる。そして、図5(c)に示すように、6H-SiC成長層12の{0001}面上にGaN成長層20をエビタキシャル成長させる。

【0030】本実施例では、6H-SiC基板11と6H-SiC成長層12とがそれらの界面で互いに格子整合するようにAl濃度がほぼ同一になる。特に、6H-SiC基板11よりも6H-SiC成長層12の方が結晶性が良好となるため、6H-SiC成長層12上に形成されたGaN成長層20の結晶性が向上する。

【0031】図6は本発明の第3の実施例による半導体装置の製造方法を示す断面図である。第3の実施例では、図6(a)に示すように、アンドープ(AI無添加)の6H-SiC基板13を用いる。図6(b)に示すように、アンドープの6H-SiC基板13の{0001}面上に、Alが添加された6H-SiC成長層14をエビタキシャル成長させる。そして、図6(c)に示すように、6H-SiC成長層14の{0001}面上に、GaN成長層20をエビタキシャル成長させる。

【0032】本実施例においては、6H-SiC成長層14が6H-SiC基板13と格子整合しないので、それらの格子不整合がGaN成長層20にも悪影響を与える可能性がある。しかしながら、GaN成長層20が6H-SiC成長層14とほぼ完全に格子整合しているの

で、従来例に比べるとGa₂N成長層20の結晶性が改善される。

【0033】図7は本発明の第4の実施例による半導体装置の製造方法を示す断面図である。第4の実施例においても、図7(a)に示すように、アンドープの6H-SiC基板13を用いる。図7(b)に示すように、アンドープの6H-SiC基板13の{0001}面上に、Alが添加された100μm以上の厚さの6H-SiC成長層14をエピタキシャル成長させる。そして、図7(c)に示すように、6H-SiC基板13を研磨、エッチング等により除去する。その後、6H-SiC成長層14の{0001}面上にGa₂N成長層20をエピタキシャル成長させる。

【0034】本実施例においては、アンドープの6H-SiC基板13を除去することにより6H-SiC成長層14と6H-SiC基板13との格子不整合による悪影響を取り除くことができる。

【0035】以上のように、第1～第4の実施例によれば、Alが添加された6H-SiC基板または6H-SiC成長層の{0001}面を下地層として用いることによりGa₂N成長層内のGa₂N層を下地層と完全に格子整合させることが可能となる。その結果、結晶性の向上したGa₂N成長層が得られ、半導体装置の特性が向上し、素子寿命が長くなる。

【0036】また、6H-SiC基板または6H-SiC成長層が導電性およびへき開性を有するので、半導体装置の構造および製造工程が複雑化せず、かつウエハ上に作製された各素子をへき開により分離することが可能になる。さらに、へき開により形成される共振器端面を有する半導体レーザ装置を作製することもできる。

【0037】なお、表2に示したように、2H-SiCの格子定数 a_0 は6H-SiCの格子定数 a_0 と等しい。したがって、Alが添加された2H-SiC基板またはAlが添加された2H-SiC成長層を下地層として用い、2H-SiC基板または2H-SiC成長層の{0001}面上にGa₂N、AlN、InN、AlGa₂N、InGa₂N、InAlNまたはInAlGa₂Nからなる成長層をエピタキシャル成長させてもよい。また、その他の全ての六方晶SiC基板または六方晶SiC成長層を下地層として用いることも可能であり、菱面体SiC基板または菱面体SiC成長層を下地層として用いることも可能である。

【0038】さらに、立方晶SiCの各結晶面の中で{111}面の原子配列は六方晶SiCの{0001}面の原子配列と同一であるので、立方晶SiCの{111}面を下地層として用いても同様の効果がある。

【0039】また、SiC基板またはSiC成長層にAlの代わりに、炭素の原子サイズ(0.2Å)よりも大きな原子サイズ(SiC結晶中の不純物元素の原子サイズ)を有する他の不純物元素を添加してもよい。例え

ば、Be(ベリリウム)、Ga(ガリウム)、Sc(スカンジウム)、Ti(チタン)、Cr(クロム)またはO(酸素)をSiC基板またはSiC成長層に添加することによりSiC基板またはSiC成長層の格子定数 a_0 を拡大させることができる。

【0040】また、第1～第4の実施例では、SiC基板またはSiC成長層に不純物元素を添加することにより、SiC結晶の a 軸方向の格子定数 a_0 をGa₂N、AlNもしくはInNまたはこれらの混晶からなる成長層の a 軸方向の格子定数 a_0 と一致させているが、SiC基板またはSiC成長層の c 軸方向の格子定数 c_0 をGa₂N、AlNもしくはInNまたはこれらの混晶からなる成長層の c 軸方向の格子定数 c_0 と一致させることも可能である。この場合、Ga₂N、AlNおよびInNはウルツ鉱型結晶であるので、六方晶SiCの中でも2H-SiCのみが下地層として使用可能である。他の型の六方晶SiCは c 軸方向の結晶の並び方がウルツ鉱型結晶とは異なる。

【0041】表2に示したように、2H-SiCの c 軸方向の格子定数 c_0 は5.05Åであり、Ga₂NおよびInNの c 軸方向の格子定数 c_0 はそれぞれ5.19Åおよび5.70Åである。したがって、2H-SiCに不純物元素を添加することにより2H-SiC結晶の格子定数 c_0 をGa₂NまたはInNの格子定数 c_0 と一致させることができる。

【0042】なお、表2に示したように、AlNの c 軸方向の格子定数 c_0 は2H-SiCの c 軸方向の格子定数 c_0 よりも小さいので、2H-SiCに不純物元素を添加することにより2H-SiCの格子定数 c_0 をAlNの格子定数 c_0 と一致させることはできない。したがって、2H-SiC基板または2H-SiC成長層の{1010}面または{1120}面を成長面とする場合、AlNは成長層として適当ではない。

【0043】したがって、不純物元素が添加された2H-SiC基板または2H-SiC成長層を下地層として用い、2H-SiC基板または2H-SiC成長層の{1010}面上または{1120}面上にGa₂N、InN、AlGa₂N、InGa₂N、InAlNまたはInAlGa₂Nからなる成長層をエピタキシャル成長させてもよい。この場合にも、成長層と下地層の格子定数 c_0 がそれらの界面でほぼ完全に格子整合し、成長層の結晶性が向上する。

【0044】不純物元素としては、上記と同様に、アクセプタとなるAlの他、炭素よりも大きな原子サイズ(SiC結晶中の不純物元素の原子サイズ)を有する他の不純物元素を用いることができる。例えば、Be、Ga、Sc、Ti、CrまたはOを用いてもよい。このうち、Be、GaおよびScはアクセプタとなり、Crはドナーとなる。なお、上記不純物元素以外の不純物元素も同時に添加して導電型を決定してもよい。

【0045】なお、2Hの{0001}面、2Hの{1010}面または2Hの{1120}面から0~10°を傾斜した成長面を有するSiC基板またはSiC成長層を下地層として用いてもよい。

【0046】上記のように、本発明は、GaN、AlNもしくはInNまたはこれらの混晶からなる成長層を有する半導体装置に適用される。本発明は、発光ダイオード、半導体レーザ装置等の半導体発光素子およびその他の種々の半導体装置に適用することができる。

【0047】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、ガリウム、アルミニウムおよびインジウムの少なくとも1つを含む窒化物半導体からなる成長層と不純物元素が添加された炭化ケイ素からなる下地層とがほぼ完全に格子整合するので、成長層の結晶性が良好となり、格子欠陥が少なくなる。その結果、半導体装置の特性が向上し、素子寿命が長くなる。

【0048】また、炭化ケイ素からなる下地層が導電性およびへき開性を有するので、半導体装置の構造および製造工程が複雑化せず、かつウエハ上に作製された各素子をへき開により分離することも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例による半導体装置の製造方法を示す断面図である。

【図2】Si融液中のAl添加量と格子定数 a_0 の拡大率との関係の測定結果を示す図である。

【図3】六方晶の単位格子を示す図である。

【図4】第1の実施例によるGaN系発光ダイオードの構造を示す断面図である。

【図5】本発明の第2の実施例による半導体装置の製造方法を示す断面図である。

【図6】本発明の第3の実施例による半導体装置の製造方法を示す断面図である。

【図7】本発明の第4の実施例による半導体装置の製造方法を示す断面図である。

【図8】従来の半導体装置の構造の一例を示す断面図である。

【図9】従来の半導体装置の構造の他の例を示す断面図である。

【図10】従来の半導体装置の構造のさらに他の例を示す断面図である。

【図11】従来のGaN系発光ダイオードの構造を示す断面図である。

【図12】GaNおよびAlNの格子およびサファイアの格子を示す図である。

【符号の説明】

10, 11, 13 6H-SiC基板

12, 14 6H-SiC成長層

20 GaN成長層

21 p型GaN層

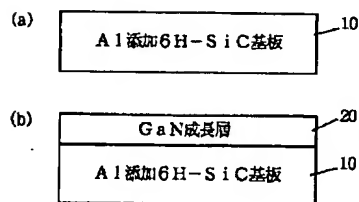
22 p型AlGaNクラッド層

23 n型InGaN発光層

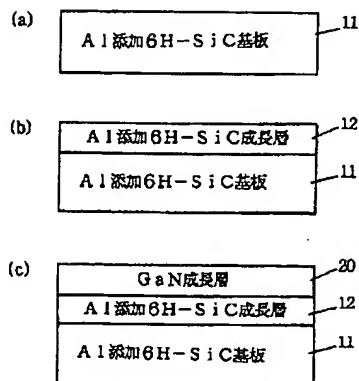
24 n型AlGaNクラッド層

25 n型GaN層

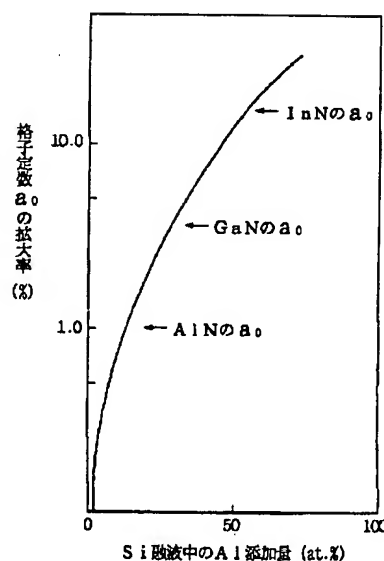
【図1】



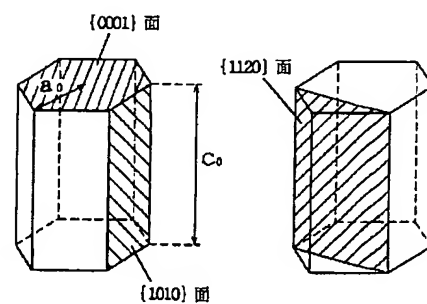
【図5】



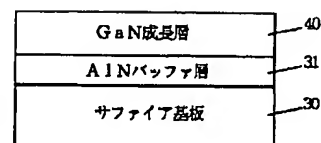
【図2】



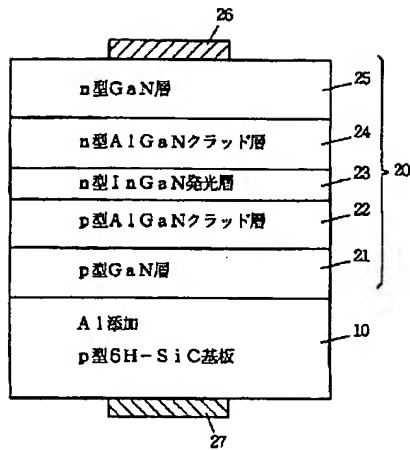
【図3】



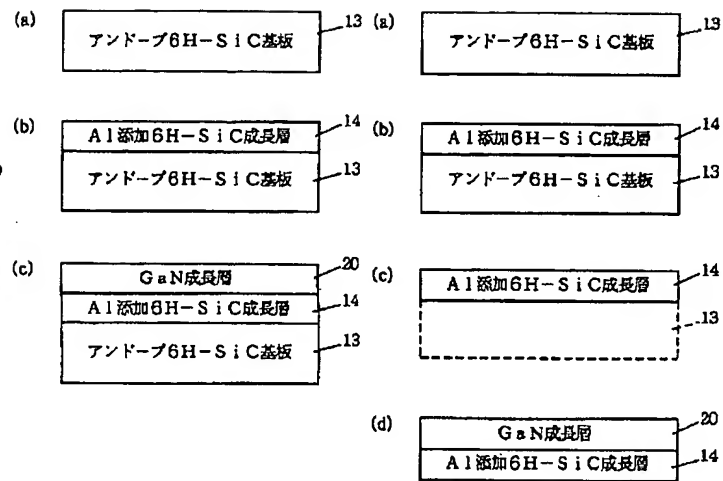
【図8】



【図4】

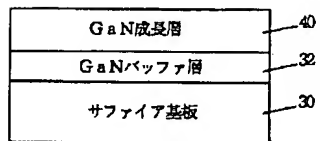


【図6】

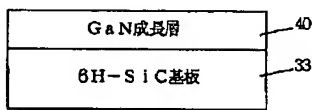


【図7】

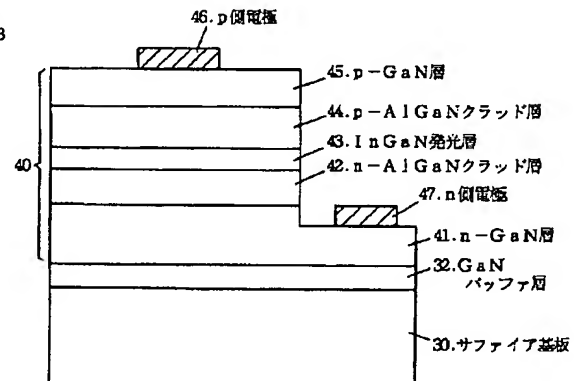
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

